Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 3, Fall 2024, p. 343-357

Evaluation of The Water Stress and Irrigation Management Effects on Soil CO_2 Emission, Water Productivity and Soybean Yield (*Glycine max* L.)

S. Shiukhy–Soqanloo[1*], M. A. Gholami Sefidkouhi[2], M. Arefrad[3]

1- Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
2- Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran
3- PhD in Plant Breeding and Genetic Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Recourses University, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: Saeid.Shiukhy@gmail.com)

Received: 16 January 2024 Revised: 07 April 2024 Accepted: 13 April 2024 Available Online: 31 July 2024	**How to cite this article:** Shiukhy-Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Arefrad, M. (2024). Evaluation of The Water Stress and Irrigation Management Effects on Soil CO_2 Emission, Water Productivity and Soybean Yield (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *22*(3), 343-357. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86444.1300

Introduction

The challenges of climate change and increasing greenhouse gas emissions have led to consequences such as global warming and successive droughts. Additionally, the rise in agricultural activities has significantly increased the pressure on available water resources. Consequently, it has become essential to consider wastewater resources. To make appropriate management decisions and find solutions to reduce CO_2 emissions in the agricultural sector, it is crucial to understand how soil moisture and sources of irrigation affect greenhouse gas (GHG) emissions, particularly CO_2. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effects of water stress and irrigation management on soil CO_2 emissions, water productivity, and soybean yield and yield components.

Materials and Methods

This research was carried out at Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources with latitude (36° 33′ N) and longitude (53° 00′ E), elevation (14 m, above sea level), average temperature (17.9°C) and total of precipitation (650 mm), during the growing season (2022-2023). The experiment was carried out in the form of a split plot based on a randomized complete block design in three replications in growth season 1402-1403, Sari. Experimental treatments include; the main factor was water stress in three levels ((non-stress, FC100), FC75 and FC50) and the sub factor was irrigation management in two levels (Urban Wastewater (UWW) and Well Water (WW).

Results and Discussion

Based on the findings, the highest amount of CO_2 emission in the middle and end stages of sampling in 60, 75, 90 and 105 day after sowing in non-stress conditions-FC100 was observed with 535.9, 534.5, 543.6 and 444.5 $ppm.min^{-1}$, respectively. In addition, its lowest amount was related to water stress-FC50 with 505.3, 499.8, 506.5 and 409.8 $ppm.min^{-1}$, respectively. The results showed that the highest amount of Co_2 emission was assigned to irrigation with urban wastewater with 536.5, 540.1, 538 and 516.9, respectively. Due to the increase

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86444.1300

in the plant growth rate and approaching the grain maturity, the amount of CO_2 emission increased with the increase in temperature, root system development, plant roots respiration and the soil microorganism's activities. The highest amount of water productivity was observed in the non-stress condition FC100 with a 0.62 $kg.m^{-3}$. Which compared to water stress conditions-FC75 and FC50 increased by 43.5% and 51.6%, respectively. Also, the results showed that in the non-stress condition-FC100 and irrigation with urban wastewater, the highest pod number (304.8), grain number of per pod (665.1), 100-grain weight (18.7 g), grain yield (1060.4 $kg.ha^{-1}$) and total dry matter (743.3 $kg.ha^{-1}$) were obtained. In the condition of irrigation with urban wastewater, the highest number of pods, grain number of per pod, 100-grain weight, grain yield and total dry matter was observed with 234.5, 495.8, 18.5 g, 679.4 $kg.ha^{-1}$ and 645.7 $kg.ha^{-1}$, respectively. While their lowest amount was assigned to water stress conditions-FC50 with 218.6, 483.3, 17.7 g, 555.1 $kg.ha^{-1}$ and 625.5 $kg.ha^{-1}$, respectively. Optimum soil moisture conditions under non-stress conditions-FC100 and water stress conditions-FC75, especially when irrigating with urban wastewater, increased the yield and yield components by providing nutrients needed by the plant.

Conclusion

The results showed that in the early stages of soil sampling, irrigation management (source of irrigation) did not significantly affect the amount of CO_2 emission. However, in the middle and final stages of sampling, the growth and development of plant organs and increased soil respiration due to the development of the root system caused the release of CO_2. This effect was more pronounced during irrigation with wastewater than with well water. Based on the findings, considering the water scarcity crisis and the challenge of water stress during the soybean growth season, it appears that accurate management and efficient use of wastewater resources is both inevitable and a suitable solution.

Acknowledgement

Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU) financially supported this research under contract number: 02-1397-05.

Keywords: Dry matter, Field capacity, Pod number, Urban Wastewater

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۳، ص ۳٤۳-۳۵۷

ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر انتشار گاز دی‌اکسید کربنِ خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا (*Glycine max* L.)

سعید شیوخی سوغانلو[1]*، محمدعلی غلامی سفیدکوهی[2]، مهدی عارف راد[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

چکیده

گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و فراوانی خشکسالی‌ها باعث شده است که مواجه شدن با چالش بحران منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش (FC100)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (FC75) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (FC50)) و عامل فرعی مدیریت آبیاری در دو سطح (آبیاری با پساب شهری (UWW) و آب چاه (WW)) بود. بر پایه یافته‌ها، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در مراحل میانی و انتهایی نمونه‌برداری در ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت در شرایط FC100 به‌ترتیب با ۵۳۵/۹، ۵۳۴/۵، ۵۴۳/۶ و ۴۴۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار این پارامتر، به هنگام آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه به‌ترتیب با ۵۳۶/۵، ۵۴۰/۱، ۵۳۸ و ۵۱۶/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه اختصاص یافت. بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط بدون تنش با مقدار ۰/۶۲ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. میزان بهره‌وری آب به هنگام آبیاری با پساب با مقدار ۰/۴۷ کیلوگرم در مترمکعب، نسبت به آبیاری با آب چاه برتری داشت. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و آبیاری با پساب، بیشترین میزان تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و تولید ماده خشک به‌دست آمد. با توجه به بحران کم‌آبی و چالش بروز تنش خشکی در طول دوره رشد سویا، مدیریت صحیح و بهره‌وری کارآمد از منابع نامتعارف آب (پساب شهری) امری اجتناب‌ناپذیر و راهکاری مناسب و امکان‌پذیر به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: پساب شهری، تعداد غلاف، ظرفیت زراعی، ماده خشک

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) عمده‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی است که بالاترین سطح زیر کشت را در بین گیاهان روغنی جهان به خود اختصاص داده است. همچنین دارای حدود ۲۲-۱۸ درصد روغن و ۴۰-۳۵ درصد پروتئین می‌باشد، که از این جهت بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Maleki, Naderi, Siyadat, Tahmasebi, & Fazel, 2012). مساحت تحت کشت سویا در کشور سالانه حدود ۱۱۰۰۰۰ هکتار بوده که از آن ۲۶۰۰۰۰ تن سویا تولید می‌گردد. متوسط عملکرد جهانی سویا برابر ۲۱۹۰ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد آن در کشور معادل ۲۳۶۰ کیلوگرم در هر هکتار است. سطح زیر کشت سویا در استان مازندران به‌صورت آبی ۸۷/۸ و به‌صورت دیم ۱۲۱/۷ هکتار می‌باشد که به‌ترتیب با تولید ۱۲۲/۳ و ۱۵۷/۲ تن در هکتار همراه است (Kiani, 2020).

چالش‌های متفاوتی همچون تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، فروپاشی محیط‌زیست، تنگدستی و گرسنگی و نبود امنیت غذایی، رشد روزافزون جمعیت جهان با افزایش فعالیت‌های کشاورزی و

۱- استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲- استاد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۳- دکتری اصلاح نباتات، گرایش ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Saeid.Shiukhy@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86444.1300

صنعتی و خشکسالی‌های پی‌درپی موجب شده است که فشار بـر منابع موجود آب شیرین به اوج خود برسد (Alizadegan, Gholami Sefidkouhi, & Shiukhy Soqanloo, 2022b). بـر پایـه گـزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم[1]، افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویـژه گـاز دی‌اکسیدکربن می‌تواند دمای سطح زمین را بـین ۱/۴ تـا ۵/۸ درجـه سلسیوس افزایش دهد (IPCC, 2005). افـزایش رهاسـازی گازهـای گلخانـه‌ای ماننـد دی‌اکسـیدکربن از خـاک بـه اتمسـفر، یکـی از نگرانی‌های جهان در چند دهه گذشته بوده است. گاز دی‌اکسـیدکربن یکی از عوامـل مهـم و اثرگـذار در گرمـایش جهـانی و تغییـر اقلـیم، محسـوب مـی‌شـود (Vanaee, Karami, Joneidi & Nabiee, 2016). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که دی‌اکسیدکربن فراوان‌ترین گاز گلخانه‌ای در خاک می‌باشد و انتشار آن نیز صد برابـر بیشتر از گاز نیتروژن و متان مـی‌باشـد (Chen, Lu, Pen, Jiao, & Wang, 2013). چی و همکـاران (Chi *et al*., 2020) بیـان نمودنـد که تنفس خاک به‌عنوان یک پارامتر کلیدی نقش حـائز اهمیتـی را در سنجش فعالیت‌های میکروبی خاک ایفا می‌نماید. از طرف دیگر، نتایج بونـد- لامبرتـی (Bond-Lamberty, Wang, & Gower, 2004) نشان داد که انتشار و رهاسازی گاز دی‌اکسید کربن خاک به اتمسـفر، ناشی از اکسیداتیو و فروکافـت مـواد آلـی خـاک توسـط ریزجانـداران موجود در خاک می‌باشد. بدین‌ترتیب فروکافت کـربن آلـی خـاک بـه گازهای دی‌اکسید کربن و متان در پی کنش‌های زیسـتی قـارچهـا و دیگر ریزجانداران موجود در خاک اسـت و یـا در مـورد گیاهـان از راه تنفس ریشه صورت می‌پذیرد.

با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر کشور ایران کـه دارای گسـتره وسـیعی از مناطق خشک و نیمـه‌خشـک مـی‌باشـد، کمبود منابع آب شیرین و مواجه شدن با چالش بحران منابع آب، امری اجتنـاب‌ناپـذیر است (Baziarpur, Raeini-Sarjaz, Shiukhy Soqanloo, 2020; Shiukhy Soqanloo, Gholami, & Ghasemi, 2023). بنـابراین استفاده از منابع نامتعارف آب (پساب) بسیار حـائز اهمیـت مـی‌باشـد. مدیریت کارآمد و بهره‌گیری مطلوب منابع پساب‌ها در کشاورزی نقش مهمـی را در کـاهش مخـاطرات زیسـت‌محیطـی ایفـا مـی‌کنـد (Alizadegan, Gholami Sefidkouhi, & Shiukhy Soqanloo, 2022a). استفاده از پساب برای اهداف آبیـاری در بخـش کشـاورزی، میزان آبی را که باید از منابع آب استخراج شـود را کـاهش مـی‌دهـد (Tabatabaei *et al*., 2020). پساب‌ها از یک سو به‌صورت بـالقوه از جمله عوامل آلوده‌کننده رودخانه‌ها و محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند کـه کنترل آلودگی آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. فلزات سنگین موجود در پساب‌های صنعتی و پساب خام توانایی نفـوذ و انباشـت در خـاک، گیاه و درنهایت زنجیره غذایی را دارنـد. نتـایج کابوسـی (Kaboosi, 2016)، نشان داد بر پایه استانداردهای جهانی، آبیاری طولانی مدت با پساب محدویت شوری، کلر و بی‌کربنـات در خـاک را در مقایسـه بـا آبیـاری بـا آب چـاه ایجـاد نکـرد. تریپـاتی و همکـاران (Tripathi, Rajput, & Patel, 2016)، اظهـار داشـتند کـه ظرفیـت خـاک در نگه‌داری فلزات سنگین در اثر آبیاری طولانی‌مدت بـا پسـاب کـاهش یافته و با رهاسازی آن‌ها، باعث جذب توسط گیاه و مورد بـه زنجیـره غـذایی مـی‌شـوند. علیزادگـان و همکـاران (Alizadegan *et al*., 2022b) نشان دادند که استفاده از پساب تصفیه‌شده در مقایسه با آب چاه، باعث جـذب میـزان بـیش‌تـری از مقـادیر سـرب و کـادمیوم در بخش‌های دانه، برگ و ساقه گیاه ذرت شـد امـا هرگـز از حـد مجـاز استانداردهای جهـانی و ملـی تجـاوز نکـرد. نتـایج پـژوهش شـیوخی سوغانلو و همکاران (Shiukhy Soqanloo *et al*., 2023) حـاکی از آن بود که استفاده از پساب شهری در آبیاری گیاه ریحـان بـا در نظـر گرفتن استانداردهای مجاز موجود، قابل‌توصیه می‌باشـد. امـا از سـوی دیگر، عناصر غذایی موجود در آن به‌عنوان کود محلول هم دسترسـی گیاه به غلظت مطلوبی از عناصر مغذی را فراهم می‌کند و هـم نقـش به‌سزایی در افزایش حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (Nazario *et al*., 2019). در کشور ایران برداشت منابع آب زیرزمینی در مقایسه با سایر کشورها به مراتب بیشتر است. لـذا در شـرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود منابع آب شیرین رنج می‌برد و در بلندمـدت بـا چـالش بحـران منـابع آب روبـه‌رو است، توجه به منابع نـامتعارف آب یـک ضـرورت اجتنـاب‌ناپـذیر می‌باشـد (Shiukhy Soqanloo *et al*., 2021).

بروز تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و نقش مهم آن در ارزیابی رشد و عملکرد محصولات زراعی بسیار ضـروری بـه‌نظـر مـی‌رسـد. همچنین تنش خشکی تأثیر قابل‌توجهی برای میزان تولید محصـول و تهدیدی بسیار جدی به‌منظور تامین امنیت غذایی در سرتا سر جهـان به‌شمار مـی‌رود (Wei, Jin, Jiang, Ning, & Liu, 2018). تشـدید اثرات نامطلوب تنش خشکی به دلیـل تغییـرات شـدید و سـریع آب و هوای جهانی بیش از پیش نمایـان گشـته و مسـتلزم پـایش و توجـه بیشتری می‌باشد (Shiukhy Soqanloo, 2023). طیف گسترده‌ای از پاسـخ گیاهـان بـه شـرایط بـروز تـنش خشـکی، بـه پاسـخ‌هـای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تعمیم داده می‌شـود (Zali, Hasanloo, Sofalian, & Asghari, 2020). ما و همکـاران (Ma, Celeste Dias, & Freitas, 2020) اظهار داشتند علی‌رغـم پیچیـده بودن پاسخ گیاه به شرایط بروز تنش خشکی، عواملی از جمله؛ مدت و شدت تنش خشکی، گونه، سن و اندازه گیاه و ژنوتیـپ نیـز بـر پاسـخ گیاه به شرایط بروز تنش بسایر موثر می‌باشند. یان و همکاران (Yan *et al*., 2013) گزارش کردند که در تنش خشکی درمراحل اولیه دوره زایشی به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد تـأثیر نمـی‌گـذارد، در حـالی‌کـه خشکی در مراحل پر شدن غـلاف بـه‌طـور قابـل‌تـوجهی عملکـرد را

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

کـاهش مـی‌دهـد. جـومرانی و همکـاران (Jumrani, Bhatia, & Pandey, 2017) بیان کردند که در مراحل رویشـی بـا قـرار گـرفتن سویا در معرض تنش خشکی امکان ایجاد سطح برگ کمتـر، سـرعت فتوسنتز و زیست‌توده کمتر نیز افزایش می‌یابد. هی و همکـاران (He *et al.*, 2017)، گزارش کردند که سویا در مراحـل رویشـی نیـاز آبـی کمی دارد، در حالی‌که در مراحل زایشی افزایش می‌یابد. نتایج مطالعـه باسال و ژابو (Basal & Szabo, 2019) نیز موید تاثیر تنش خشـکی بر جنبه‌های مختلف رشـد و نمـو سـویا مـی‌باشـد. رشـید رسـتمی و همکـاران (Rashid Rostami, Raeini Sarjaz, & Shiukhy Soqanloo, Mousavi Baygi, Torabi, & Raeini Sarjaz, 2021)، بیان نمودند که اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مناسب و دستیابی به راهکارهای کـاهش انتشـار دی‌اکسـید کـربن در آینـده در بخـش کشاورزی، نیازمند درک چگونگی تـأثیر منـابع آبِ آبیـاری بـر انتشـار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن می‌باشد. لـذا، هـدف از ایـن پژوهش، ارزیابی تـأثیر تـنش خشـکی و مـدیریت آبیـاری بـر انتشـار دی‌اکسید کربنِ خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بـا ارتفاع از سطح دریـا (۱۰ m−)، میـانگین دمـا (۱۷/۹ °C) و میـانگین بارندگی (۶۵۰ mm)، در طی سـال‌زراعـی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجـام شـد. سایر اطلاعات مربوط به شرایط محل اجرای آزمـایش در طـول دوره رشد و نمو گیاه سویا در جدول ۱ ارایه گردید.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش (سازمان هواشناسی ایران)
Table 1- Some characteristics of the weather conditions of the experimental site (IRIMO)

دوره رشد و نمو Growth season	دمای کمینه (T_{min}) Minimum temperature (°C)	دمای بیشینه (T_{max}) Minimum temperature (°C)	متوسط دما ($T_{average}$) Minimum temperature (°C)	بارندگی (P) Precipitation (mm)	تبخیر (E) Evaporation (mm)
خرداد (June)	23.4	33.6	27.4	22.1	159.9
تیر (July)	28.7	37.8	32.7	14.8	178.2
مرداد (August)	22.8	35.1	28.6	2.9	205.8
شهریور (September)	19.3	30.1	23.9	36.1	135.8
مهر (October)	14.4	26.1	19.5	145	67
میانگین (Average)	21.7	32.5	26.4	44.1	149.3

آزمایش به‌صورت کرت خردشده بر پایه طرح بلـوک‌هـای کامـل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل؛ عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش (FC100)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (FC75) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (FC50)) و عامل فرعی منبع آبیاری در دو سطح (پساب شهری[1] (UWW) و آب چاه[2] (WW))، با سه تکـرار در سـال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علـوم کشـاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. منبع آبیاری پساب در هـر دور آبیـاری از تصفیه‌خانه واقع در روستای عالیواک از واحدهای تابعـه شـرکت آب و فاضلاب ساری تامین شد که پس از تصفیه نهایی از محـل خروجـی، پساب مورد نیاز برداشت شد. برای سـنجش ویژگـی‌هـای فیزیکـی و شیمیایی نمونه‌گیری انجام و به آزمایشگاه کیفیـت آب انتقـال یافـت. اطلاعـات مربـوط بـه ویژگـی‌هـای پسـاب و آب چـاه و همچنـین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خـاک مزرعـه آزمایشـی در جـدول ۲ گزارش شد.

عملیـات کاشـت بـذور سـویا رقـم ویلیـامز، در تـاریخ ۱۳ خـرداد به‌صورت دستی و به روش هیرم کاری در کرت‌هایی با ابعاد (۳×۲) در ۴ ردیف با رعایت فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و ۳۰ سانتی‌متـر بین ردیف‌ها انجام شد. همچنین فاصله بلوک‌ها از یکـدیگر ۲ متـر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشـت، آبیـاری انجـام شد. پس از رسیدن گیاه به مرحله ۸-۶ برگی، تیمارهای تنش خشکی در هر دور از آبیاری اعمال شدند و از سرپناه بارش[3] برای جلوگیری از ریزش باران به درون کرت‌ها استفاده شد. روش آبیاری سطحی بوده و از تانسیومتر برای پایش رطوبت خاک استفاده شد. بدین ترتیب آبیاری زمانی‌که رطوبت خاک به ۷۰ درصـد مـی‌رسـید (SWC=70)، انجـام می‌شد. پیش از کاشت بر اساس آزمون تجزیه خاک مزرعه، کودهـای مورد نیاز به خاک اضافه شدند. بسته به نیاز گیاه در طی دوره‌ی رشـد کوددهی با کود ۲۰-۲۰-۲۰ NPK (نیتروژن به‌عنوان، نیتـرات:۶/۵٪؛

1- Urban wastewater
2- Well water
3- Rain shelter

آمونیـوم، ۰/۴٪؛ اوره، ۴/۱۰٪؛ فسـفات بـه‌عنوان P_2O_5، ۰/۲۰٪؛ و پتاس به‌عنوان K_2O، ۰/۲۰٪) همراه بـا عناصـر کـم مصـرف منگنـز (۰/۰۳٪)، بُر(۰/۰۲٪) و مولیبدن (۰/۰۰۱٪) به‌صورت سرک (EDTA) انجام شد. به‌منظور سنجش انتشار دی‌اکسیدکربن خاک، محفظه‌هایی استوانه‌ای شکل و ساکن (با قطـر ۱۰ و ارتفـاع ۳۰ سـانتی‌متـر) بـین ردیف‌های کشت در هر کرت، در عمق ۱۰ سانتی‌متـری خـاک تعبیـه شدند. سنجش‌ها دو هفته پس از کاشت آغاز و در یک بازه پانزده روزه تا پایان دوره رشـد بـا اسـتفاده از دسـتگاه CO_2- port-Messwert company GmbH-Gottingen با روش infrared انجام گرفت.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، آب آبیاری و حداکثر حد مجاز استفاده از آب پساب برای مصارف کشاورزی بر اساس برخی استانداردها (Alizadegan *et al.*, 2022b)

Table 2- Physical-chemical characteristics of soil, irrigation water and the maximum allowed use of wastewater for agricultural purposes based on some standards

ویژگی‌های آب Water characteristics			استانداردهای پساب برای کشاورزی Wastewater standards for agriculture			ویژگی‌های خاک Water characteristics	
پارامتر Parameter	چاه WW	پساب TWW	WHO (1992)	FAO (2006)	IRNDOE	پارامتر Parameter	مقدار Value
pH اسیدیته	7.8	7.9	6.5–8	6.5–8	6–8.5	(Depth) عمق	0-30
EC ($dS.m^{-1}$) هدایت الکتریکی	0.81	0.91	0.7	0.7	-	(Sand, %) شن	23
NTU کدورت	11	3.53	-	-	50	(Clay, %) رس	37
TSS ($mg.L^{-1}$) مواد جامد معلق کل	18	41.1	-	-	100	(Silt, %) سیلت	40
TDS مواد جامد محلول کل	495	628.5	450	450	-	pH	7.6
TP ($mg.L^{-1}$) فسفر کل	2.19	4.12	4	4	6	EC ($dS.m^{-1}$)	1.8
Cod ($mg.L^{-1}$) اکسیژن خواهی شیمیایی	3	18.13	-	-	200	O.M (%)	2
BOD ($mg.L^{-1}$) اکسیژن خواهی بیوشیمیایی	0.8	11.57		-	-	O.C (%)	1.2
N ($mg.L^{-1}$) نیتروژن کل	66	73.48		-	-	N (%)	0.1
Ca ($mg.L^{-1}$) کلسیم	75.4	95.21		-	-	P ($mg.kg^{-1}$)	13
Na ($mg.L^{-1}$) سدیم	15.9	19.8		-	100	K ($mg.kg^{-1}$)	370
Mg ($mg.L^{-1}$) منیزیم	1	5.7	-	-	100	-	

لازم به ذکر است که به‌منظور کم کردن خطـای تغییـرات دمـای روزانه، این سنجش‌ها بین ساعت ۱۱-۸ صبح انجام شد (Shimizu, Marutani, Desyatkin, Hiroshi Hata, & Hatano, 2009). برای سنجش عملکرد و اجزای عملکرد، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از دو خط میانی هر کرت به‌طور تصادفی برداشـت و بـرای سـنجش صفات مورد نظر به آزمایشـگاه انتقال داده شد. صفات مـورد مطالعـه گیاه شامل ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته، تعـداد دانـه در غـلاف و وزن ۱۰۰ دانه بودند. برای سنجش میزان تولید ماده خشک و عملکرد نهایی، عملکرد هر کرت به‌طور جداگانه با استفاده از ترازو دیجیتال بـا دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای سنجش میزان بهره‌وری آب از رابطه (۱) استفاده شد:

$$WP = \frac{GY}{Wap} \quad (۱)$$

که در آن، WP: بهره‌وری آب بر حسـب کیلـوگرم در مترمکعـب، GY: میزان عملکرد محصول بر حسب کیلـوگرم و Wap: مترمکعـب آب مصرفی می‌باشد (Farre & Faci, 2006). داده‌ها، بـا اسـتفاده از نرم افزار SASv.9.2 تجزیه و از آزمون چنددامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

انتشار دی‌اکسید کربن خاک

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک در جدول ۳ ارایه گردید. بـر پایه نتایج به‌دست‌آمده، در مراحل ابتدایی نمونه‌برداری میـزان انتشـار گاز دی‌اکسید کربن خاک، تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری قرار نگرفت اما در ادامه مراحل نمونه‌برداری بسیار قابل‌توجه و چشمگیر بود. به‌طوری‌که تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن، بسیار معنی‌دار بـود ($P \leq 0.01$). همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر بـرهمکنش تـنش خشـکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشـار گـاز دی‌اکسـیدکربن تفـاوت معنی‌دار نداشت و تغییرات تقریباً یکسـان و بـدون تغییـر بـاقی مانـد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در طول دوره‌ی رشد سویا

Table 3- The results of variance analysis of water stress and irrigation management effects on the CO_2 emissions during the soybean growth season

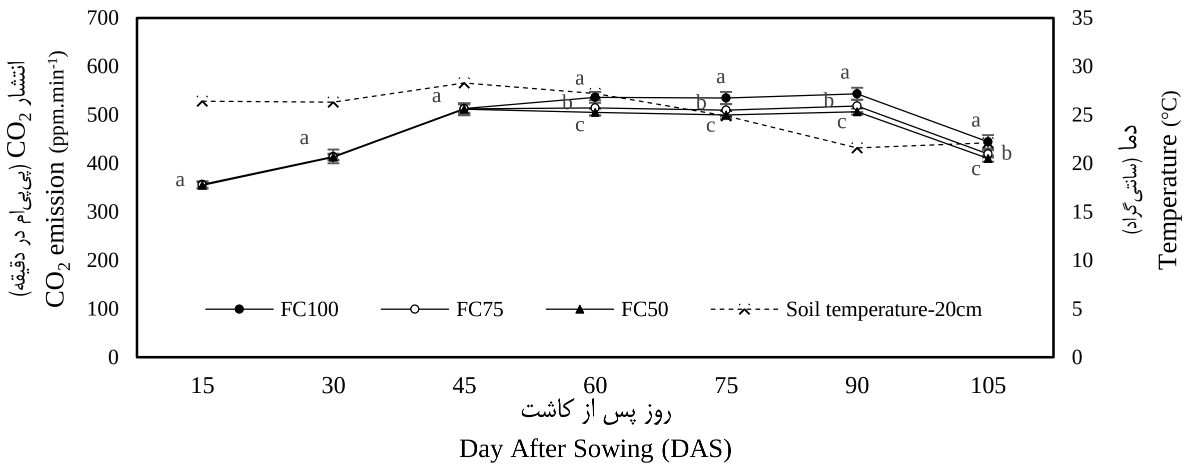
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean of square)						
		15*** ($ppm.min^{-1}$)	30 ($ppm.min^{-1}$)	45 ($ppm.min^{-1}$)	60 ($ppm.min^{-1}$)	75 ($ppm.min^{-1}$)	90 ($ppm.min^{-1}$)	105 ($ppm.min^{-1}$)
بلوک (Block)	2	0.537ns	11.9858ns	2.5477ns	61.7751ns	5.9461ns	3.5379ns	0.1954ns
تنش خشکی Water stress	2	5.4726ns	3.8841ns	3.2963ns	2513.723**	5125.838**	6153.835**	2293.0198**
بلوک × تنش خشکی (B × Ds)	4	0.8967ns	7.4867ns	0.3520ns	23.2844ns	1.4245ns	7.4768ns	7.417ns
منبع آبیاری Source of irrigation	1	1.736ns	1.8561ns	0.2713ns	1926.549**	742.5373**	404.5116**	163.142**
تنش خشکی × منبع آبیاری (Ds × SI)	2	0.5706ns	0.3520ns	0.3001ns	6.733ns	3.9183ns	21.1613ns	7.2496ns
خطا (Error)	6	4.1058	2.9934	1.3771	12.5569	16.67533	1.7795	7.4619
کل (Total)	17	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (C.V)	-	1.5	0.4	0.2	0.9	1.7	0.9	0.6

*** روز پس از کاشت، **، * و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

*** Day After Sowing (DAS), **, * and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، تأثیر تنش خشکی در مراحل آغازین رشد و نمو (۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت)، مطابق انتظار تفاوت چندان قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نداشت. در واقع در مرحله اول نمونه‌برداری (۱۵ روز پس از کاشت)، گیاهچه‌های بسیار کوچک حاصل از جوانه‌زنی و سبزشدن بذور سویا ظاهر شده بودند و هنوز توسعه سیستم ریشه آن‌ها در خاک شکل نگرفته بود و با توجه به ساختار ضعیف گیاهچه‌ها تنش خشکی اعمال نشده بود. اما با گذر از مرحله اول و با وارد شدن به مراحل دوم و سوم نمونه‌برداری (۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت)، با افزایش رشد اندام‌های هوایی و توسعه سیستم ریشه در خاک، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز افزایش یافت. اما بازهم میان تیمارهای آزمایش تفاوت محسوسی مشاهده نشد (شکل ۱). در مراحل بعدی نمونه‌برداری (۶۰، ۷۵، ۹۰ روز پس از کاشت)، روند افزایش میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن ادامه داشت. به‌طوری‌که، در مرحله چهارم نمونه‌برداری (۶۰ روز پس از کاشت)، در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن با مقدار ۵۳۵/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه و کمترین میزان آن در شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۵۰۵/۳ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. همچنین در مراحل پنجم و ششم نمونه‌برداری (۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت)، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در شرایط بدون تنش FC100 به‌ترتیب با ۵۳۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه و ۵۴۳/۶ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 به‌ترتیب با ۴۹۹/۸ و ۵۰۶/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه بود. در مرحله هفتم (۱۰۵ روز پس از کاشت)، روند میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک بر خلاف مراحل چهارم، پنجم و ششم کاهشی بود. اما باز هم میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک از مراحل اول، دوم و سوم نمونه‌برداری بالاتر بود. در این مرحله در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن با مقدار ۴۴۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۴۰۹/۸ پی‌پی‌ام در دقیقه بود (شکل ۱).

همچنین بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، تأثیر آبیاری با پساب شهری نتایج مشابهی همانند تنش خشکی نشان داد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در مراحل آغازین رشد و نمو، آبیاری با پساب و آب چاه تفاوت چندان قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نداشت. بتدریج با سپری شدن مراحل رشد و نمو گیاه و تداوم آبیاری، در مراحل چهارم تا ششم نمونه‌برداری، آبیاری با پساب موجب افزایش میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک شد. به‌طوری‌که در این مراحل بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در شرایط آبیاری با پساب به‌ترتیب با ۵۳۶/۵، ۵۴۰/۱، ۵۳۸/۰ و ۵۱۶/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک مربوط به شرایط آبیاری با آب چاه به‌ترتیب با ۵۱۵/۸، ۵۲۷/۳، ۵۲۸/۵ و ۵۱۰/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه بود (شکل ۲).

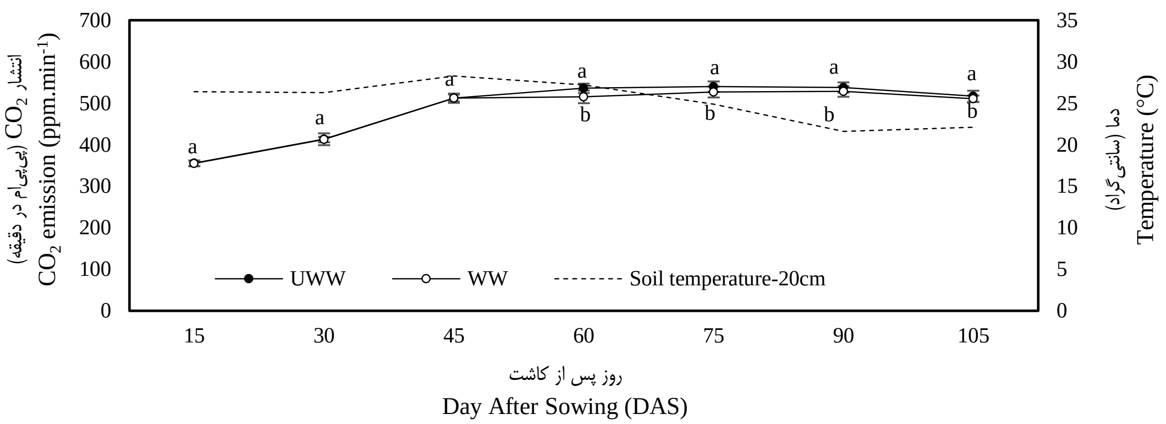


شکل ۱- ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک در طول دوره رشد و نمو سویا

Figure 1- Evaluation of the effect of water stress on the CO_2 emission during the soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند ($Duncan \leq 0.05$).

In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level ($Duncan \leq 0.05$)



شکل ۲- ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در طول دوره رشد و نمو سویا

Figure 2- Evaluation of the irrigation management effects on the CO_2 emission during the soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند ($Duncan \leq 0.05$).

In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level ($Duncan \leq 0.05$)

عوامل مختلفی در میزان انتشار دی‌اکسید کربن و سرعت معدنی شدن کربن دخالت دارند که از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به دما و رطوبت خاک اشاره کرد که در نتیجه فعالیت‌های تجزیه‌ای ریزجانداران خاک، سهم بسیار قابل‌توجه و آشکاری را در میزان انتشار و معدنی شدن کربن به خود اختصاص داده‌اند (Hajagha Memar, Keivan Behjou, Sefidi, & Behtari, 2016). نگاسا و همکاران (Negassa, Price, Basir, Snapp, & Kravchenko, 2015) با ارزیابی تغییرات میزان انتشار دی‌اکسید کربن و دمای خاک، همبستگی مثبت و بالایی را میان آن‌ها گزارش کردند. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2013) نیز بیان نمودند که افزایش دما و شرایط مطلوب آب، باعث افزایش تنفس ریشه گیاهان و به دنبال آن افزایش تنفس خاک شد که در نهایت افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را در پی داشت. علی‌زاده و همکاران (Alizadeh, Koocheki, & Nasiri Mahalati, 2017) بیان کردند که با توجه به تامین رطوبت خاک با آبیاری، دما به‌عنوان تنها عامل موثر بر بالاترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک شناخته شد. نتایج لا اسکالا و همکاران (La Scala, Bolonhezi, & Pereira, 2006) نیز موید افزایش میزان انتشار دی‌اکسید کربن از سطح خاک در فصل تابستان و در شرایط دما بالا بود. همچنین در دمای پایین به‌دلیل کاهش تنفس ریشه گیاهان و فعالیت ریزجانداران، تنفس خاک نیز دچار کاهش محسوسی

شد. لازم به ذکر است که مواد غذایی موجود در خاک از جمله نیتروژن و فسفر می‌تواند فعالیت ریزجانداران را تحت تأثیر قرار داده و افزایش یا کاهش در میزان مواد مغذی موجود در خاک، موجب افزایش یا کاهش در فعالیت ریزجانداران می‌شود. حاج آقا معمار و همکاران (Hajagha Memar *et al.*, 2016) همبستگی مثبتی بین انتشار دی‌اکسیدکربن و فسفر خاک گزارش کردند. نتایج تلن و همکاران (Thelen, Fronning, Kravchenko, Min, & Robertson, 2010) نشان داد که بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک با توجه به میزان رطوبت بالا در فصل بهار اتفاق افتاد که در فعالیت ریزجانداران عامل بسیار حائز اهیمتی می‌باشد. حال آن‌که دما نقش چندان قابل‌توجهی را ایفا نکرد. نتایج رشید رستمی و همکاران (Rashid Rostami *et al.*, 2021) نیز حاکی از آن بود که به‌دلیل تغییرات بسیار کم دما، میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک نیز با تغییرات بسیار ناچیزی همراه بود و دما نقش مهمی را در انتشار دی‌اکسید کربن خاک بازی نکرد.

بر اساس نتایج شکل ۱ و ۲، با توجه به این‌که در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۱۵ تا ۴۵ روز پس از کاشت) گیاه در مراحل اولیه رشد قرار داشته و دارای سیستم توسعه ریشه و زیست‌توده کمی بود. همچنین دمای خاک در مقایسه با مراحل بعدی نمونه‌گیری پایین‌تر بود. تنفس خاک بیشتر توسط فعالیت ریزجاندارن کنترل شد و به مقدار کم‌تری تحت تأثیر تنفس ریشه گیاهان قرار گرفت. بنابراین در مراحل اولیه در مقایسه با مراحل میانی و انتهایی رشد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک پایین‌تر مشاهده شد. با ادامه دوره رشد و نمو گیاه و نمونه‌گیری در ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت، با توجه به افزایش سرعت رشد در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی دانه، میزان انتشار دی‌اکسید کربن متناسب با افزایش دما، توسعه سیستم ریشه و افزایش تنفس ریشه گیاهان و فعالیت ریزجانداران افزایش یافت. از طرف دیگر، شرایط رطوبتی مطلوب خاک در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 به‌خصوص هنگام آبیاری با پساب شهری، با فراهم ساختن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بر فعالیت ریزجانداران خاک و رشد و نمو گیاه موثر بود و میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش یافت. در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 هوای درون منافذ خاک، با ورود آب به خاک تا حدود زیادی پر شد و به تبع آن موازنه آب و هوای خاک به‌هم خورد. حال با افزایش حجم آب ورودی به خاک، متناسب با آن میزان دی‌اکسیدکربن بالاتری از خاک رها شده و وارد اتمسفر گردید. در مرحله آخر نمونه‌برداری (۱۰۵ روز پس از کاشت) با توجه به رسیدگی دانه و نزدیک شدن به مرحله برداشت، عملاً رشد و نمو گیاه بسیار اندک و یا متوقف شد. توقف توسعه سیستم ریشه و به دنبال آن تنفس ریشه از یک طرف و زرد شدن اندام‌های هوایی گیاه و فرارسیدن زمان برداشت، باعث شد تنها فعالیت ریزجانداران و عواملی همچون دما و رطوبت خاک در انتشار دی‌اکسید کربن موثر باشد. از طرفی با کاهش دما در انتهای دوره رشد و نمو گیاه نیز میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یافت. از آن‌جایی‌که میزان رطوبت نیز مطابق با سطوح تنش اعمال شد و در این مرحله میزان آبیاری و نوع منبع آبِ آبیاری با توجه به نزدیک شدن به مرحله برداشت تأثیر چندانی بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن نداشت. می‌توان این‌گونه بیان کرد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن در مرحله انتهایی رشد در مقایسه با مراحل میانی پایین‌تر و بیشتر متاثر از فعالیت ریزجانداران بود، اما همچنان نسبت به مراحل اولیه رشد بالاتر بود.

بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۴ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، اثرات ساده تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان بهره‌وری آب، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و ماده خشک کل تفاوت معنی‌دار داشت ($P\leq 0.01$). نتایج دال بر این بود که اثر برهمکنش تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد سویا معنی‌دار نبود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادکه تنش خشکی در طول دوره رشد و نمو سویا، بر میزان بهره‌وری آب تأثیرگذار بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط بدون تنش، با مقدار ۰/۶۲ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC75 و FC50 به‌ترتیب با ۰/۳۵ و ۰/۳۰ کیلوگرم در مترمکعب بود (شکل ۳). همچنین آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه، میزان بهره‌وری آب را به میزان ۲۳/۶ درصد افزایش داد. در واقع در شرایطی که آبیاری با پساب انجام شد، میزان بهره‌وری آب ۰/۴۷ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. در حالی‌که در شرایط آبیاری با آب چاه، میزان آن ۰/۳۸ کیلوگرم در مترمکعب بود، که حاکی از برتری منبع آبیاری پساب نسبت به آب چاه بود (شکل ۳).

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میزان بهره‌وری آب در شرایط تنش خشکی FC75 و FC50 به‌ترتیب ۴۳/۵ و ۵۱/۶ درصد نسبت به شرایط بدون تنش FC100 کاهش یافت. این در حالی بود که میزان آب مصرفی در شرایط بدون تنش FC100، تنش خشکی FC75 و FC50 به‌ترتیب ۱۷۰۰، ۱۳۷۵ و ۱۰۵۰ مترمکعب بود. کاهش کربوکسیلاسیون در طول مدت تنش و پارامترهای موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن به درون کلروپلاست ناشی از کاهش مصرف آب می‌باشد، که با افزایش شدت و مدت تنش خشکی کاهش میزان بهره‌وری آب را در پی خواهد داشت (Golestanifar, Mahmoodi, Zamani, & Sayyari, 2017).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد و اجزای عملکرد سویا

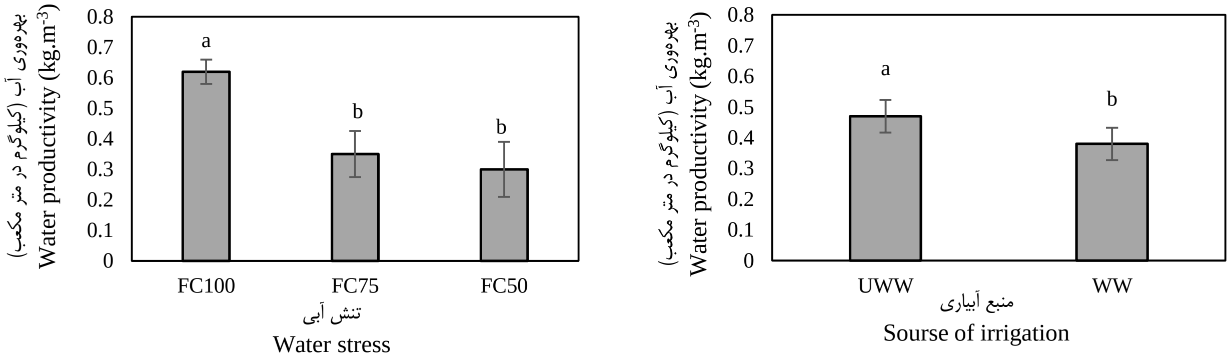
Table 4- The results of variance analysis of water stress and irrigation management effects on water productivity and soybean yield and yield components

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	بهره‌وری آب Water productivity	عملکرد و اجزای عملکرد Yield and yield components				
		WP (kg.m-3)	GY (kg.ha^{-1})	TDM (kg.ha^{-1})	100-GW (kg.ha^{-1})	GNP –	PN –
بلوک (Block)	2	0.0026ns	4020.93ns	350.8ns	0.1088ns	2.75ns	4.695ns
تنش خشکی Water Stress	2	0.1758**	886894.1**	83273**	3.0838**	3620.9**	8453.46**
بلوک × تنش خشکی (B × Ds)	4	0.0031ns	3981.77ns	258.5ns	0.1363ns	3.37ns	6.433ns
منبع آبیاری Source of Irrigation	1	0.0392**	69552.07**	1830.1**	3.2089**	16.69**	69.62**
تنش خشکی × منبع آبیاری (Ds × SI)	2	0.0013ns	644.2ns	110.92ns	0.1205ns	21.02ns	6.5116ns
خطا (Error)	6	0.0028	4472.6	154.96	0.2716	42.50	2.0277
کل (Total)	17	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (C.V)	–	10.4	10.8	1.9	2.8	1.8	1.3

PN: Pod number per plant (تعداد غلاف در بوته); GNP: Grain number per pod (تعداد دانه در غلاف); 100-GW: 100- Grain weight (وزن صد دانه); TDM: Total dry matter (ماده خشک کل); GY: Grain Yield (عملکرد دانه)

**، *: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح ۱ و ۵ درصد می‌باشند (دانکن، $P \leq 0.05$).

*** Day After Sowing (DAS), **, * and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively (Duncan, $P \leq 0.05$)



شکل ۳- ارزیابی اثرات ساده تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر میزان بهره‌وری آب در طول دوره رشد و نمو سویا

Figure 3- Evaluation of the simple effects of water stress and irrigation management on water productivity during soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند ($Duncan \leq 0.05$).

In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level ($Duncan \leq 0.05$)

به‌نظر می‌رسد محتویات عناصر مغذی در پساب تا حدی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را جبران نمود و در مقایسه با شرایط آبیاری با آب چاه نتایج مطلوب‌تری حاصل شد. در واقع گیاه با بروز تنش خشکی با کاهش سطح برگ، ارتفاع و سایر خصوصیات مورفولوژیکی درنهایت دچار کاهش عملکرد شد. اما در شرایط آبیاری با پساب به‌واسطه در اختیار داشتن شرایط مطلوب خاک و فراهمی عناصر غذایی نسبت به شرایط آبیاری با آب چاه، توان بازیابی و کاهش آسیب ناشی از شرایط بروز تنش خشکی را به‌دست آورد.

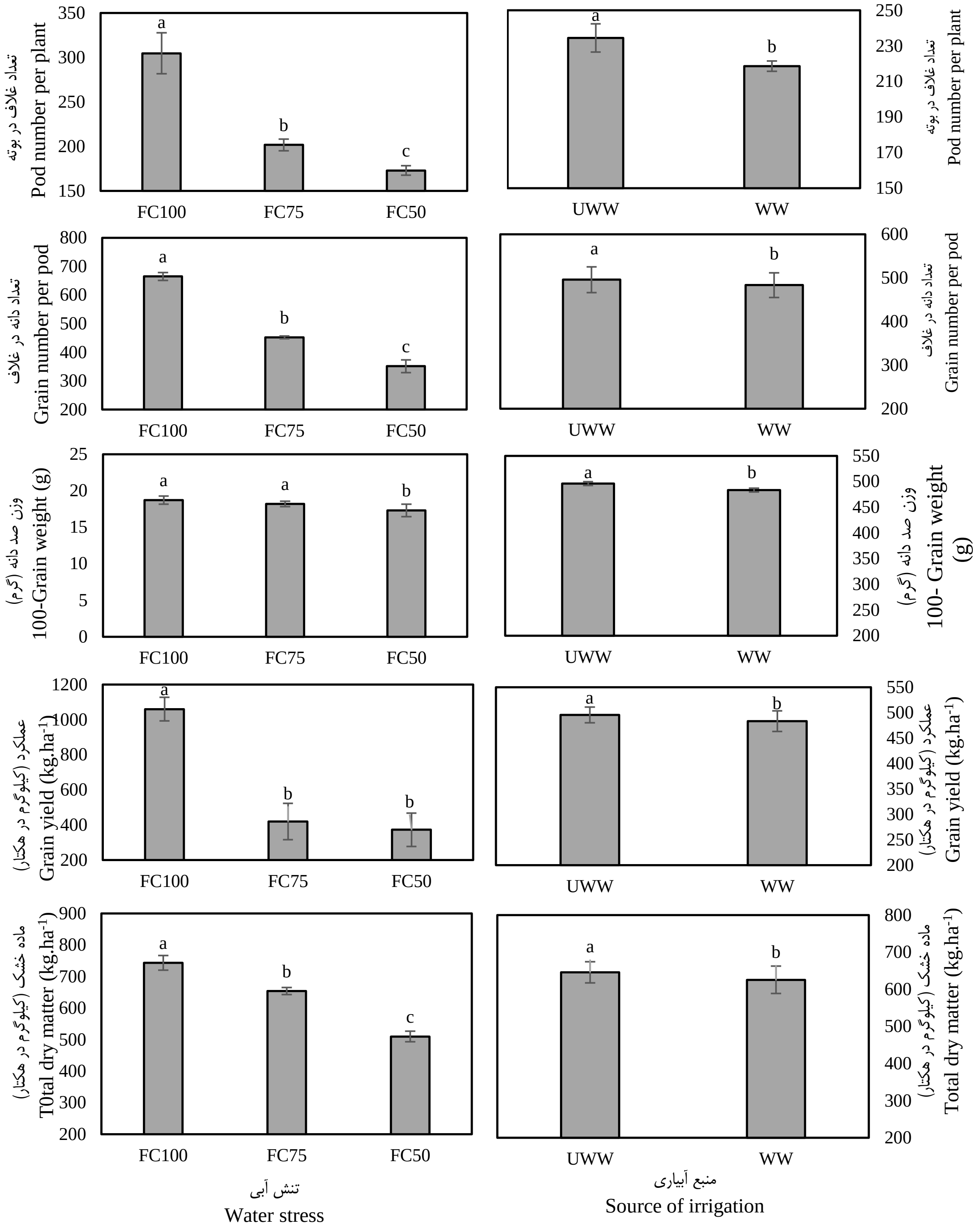
شاهرخنیا و همکاران (Shahrokhnia, Jowkar, & Rakhshandehru, 2017) نیز بیان نمودند که در شرایط مدیریت آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با مدیریت سنتی، میزان آب مصرفی گیاه، کاهش چشمگیری را نشان داد. هم‌سنجی نتایج موسوی و همکاران (Mousavi, Khaledian, Ashrafzadeh, & Shahin Rokhsar, 2016)، امینی‌فر و همکاران (Aminifar, Mohsenabadi, Biglouei, & Samiezadeh, 2012) و اسمعیلی و همکاران (Esmaeili, Farhadi Bansouleh, & Ghorbani, 2015) نیز با یافته‌های این پژوهش همسو بود.

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۴ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، اثرات ساده تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، ماده خشک کل و عملکرد دانه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). با این حال اثر برهمکنش تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۴). بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط بدون تنش با ۳۰۴/۸ و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۱۷۳/۱ بود. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط بدون تنش FC100 با مقدار ۶۶۵/۱ و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۳۵۱/۵ بود. بر پایه یافته‌ها، وزن صد دانه در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 تفاوت چندانی نداشت (به‌ترتیب ۱۸/۷ و ۱۸/۲ گرم)، اما در مقایسه با تنش خشکی FC50 (۱۷/۳ گرم) برتری محسوسی مشاهده شد (شکل ۴). همچنین در شرایط بدون تنش، میزان عملکرد دانه با مقدار ۱۰۶۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شرایط تنش خشکی FC75 و FC50 عملکرد دانه بالاتری را به‌ترتیب با ۴۱۹/۴ و ۳۷۲ کیلوگرم در هکتار، به خود اختصاص داد. نتایج میزان تولید ماده خشک بیانگر آن بود که بیشترین میزان تولید ماده خشک با ۷۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به شرایط بدون تنش FC100 و کمترین میزان آن‌ها در شرایط تنش خشکی FC50 با ۵۰۹/۸ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد (شکل ۴).

تنش خشکی اثرات منفی قابل‌توجهی بر رشد، نمو و عملکرد سویا دارد و با کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ، تسریع پیری برگ و تنش اکسیداتیو تولید محصولات فتوسنتزی را مهار می‌کند (Farooqi, 2017). تنش خشکی باعث کاهش زیست‌توده ساقه، ریشه و دانه سویا و کاهش تخصیص زیست‌توده به دانه نسبت به شرایط بدون تنش شده، که در نهایت منجر به کاهش وزن بذر خواهد شد. همچنین تنش خشکی نسبت توزیع ماده خشک در دانه و دیواره غلاف سویا را کاهش داده، اما نسبت توزیع ماده خشک در ریشه و ساقه را افزایش می‌دهد (Du, Zhao, Chen, Yao, & Xie, 2020). تعداد غلاف در مرحله تشکیل غلاف که منجر به کاهش وزن غلاف در گیاه شده، به‌شدت نسبت به شدت و مدت تنش خشکی واکنش نشان داده و دچار کاهش می‌شود. از این‌رو به‌عنوان مرحله‌ای بسیار حساس نسبت به تنش خشکی به‌حساب می‌آید (Divsalar, Tahmasebi Sarvestani, Modares Sanavi, & Hamidi, 2016). تاوارس و همکاران (Tavares, Rufino, Tunes, & Albuquerque Barros, 2011) بیان کردند که میزان عملکرد وابستگی بسیار زیادی به تعداد غلاف در بوته در واحد سطح و میزان ریزش گل و غلاف داشته و هر گونه کاهش در تعداد غلاف و افزایش ریزش گل را دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه دانستند. نتایج نواب‌پور و همکاران (Navabpour, Hezarjaribi, & Mazandarani, 2017) نیز نشان داد که صفت تعداد دانه در غلاف علاوه بر عوامل ژنتیکی، تحت شرایط محیطی نیز قرار دارد و در عملکرد نهایی نقش مهمی را ایفا می‌کند. امیدی (Omidi, Pirjalili, & Ahmadi, 2021) اظهار داشت که عملکرد دانه تحت شرایط بروز تنش خشکی دچار افت گردید. کاهش تجمع ماده خشک متناسب با شدت تنش دچار کاهش شده و همزمان با کاهش در سایر اجزای عملکرد، موجب کاهش محسوس و قابل‌توجهی بر میزان عملکرد دانه می‌گردد (Aminifar *et al.*, 2012). اکبری نودهی (Akbarinodehi, 2013) مرحله گلدهی و پرشدن دانه را حساس‌ترین مراحل در مواجه با تنش خشکی گزارش نمودند.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت شرایط آبیاری با پساب نسبت به آب چاه، نتایج مطلوب‌تری را نشان دادند. به‌طوری‌که در شرایط آبیاری با پساب، بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و تولید ماده خشک به‌ترتیب با ۲۳۴/۵، ۴۹۵/۸، ۱۸/۵ گرم، ۶۷۹/۴ کیلو گرم در هکتار و ۶۴۵/۷ کیلو گرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود کمترین میزان آن‌ها به شرایط تنش خشکی FC50 به‌ترتیب با ۱۰۱/۲ گرم، ۴۸۳/۳، ۱۷/۷ گرم، ۵۵۵/۱ کیلوگرم در هکتار و ۶۲۵/۵ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (شکل ۴). پساب شهری حاوی مقادیر مختلفی از عناصر مغذی می‌باشد که بسته به کیفیت پساب با فراهمی این عناصر برای گیاه، موجب بهبود رشد اندام‌های گیاهی می‌شود که به تبع آن، بهبود مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت (Alizadegan *et al.*, 2022b). استفاده از پساب به‌دلیل بهبود شرایط فیزیکی خاک و فراهمی نیتروژن در خاک، شرایط لازم برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را فراهم ساخته که در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌گردد (Shiukhy Soqanloo *et al.*, 2023).



شکل ٤- ارزیابی اثرات تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در طول دوره رشد و نمو سویا

Figure 4- Evaluation of the water stress and irrigation management effects on water productivity during soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Duncan ≤ 0.05).

In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level (Duncan ≤ 0.05)

آبیاری با پساب به‌واسطه فراهم ساختن عناصر مغذی بیشتر موجب افزایش رشد اندام‌های گیاهی، افزایش میزان بهره‌وری سیستم فتوسنتزی گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌گردد (Alizadegan *et al.*, 2022a; Mahfooz *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌ها، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک وابستگی بسیار زیادی به مراحل رشد و نمو گیاه، توسعه سیستم ریشه و میزان تنفس خاک داشت. در مقایسه مراحل اولیه تا انتهایی رشد با افزایش رشد و نمو اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه و افزایش تنفس خاک به‌دلیل توسعه سیستم ریشه، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن روندی صعودی داشت. از طرفی، بروز شرایط تنش خشکی میزان بهره‌وری آب، ویژگی‌های مورفولژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد سویا را تحت تاثیر قرار داد و با کاهش چشمگیری مواجه ساخت. با این حال استفاده از پساب شهری در آبیاری با فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سویا و افزایش حاصلخیزی خاک در مقایسه با آبیاری با آب چاه، اثرات نامطلوب تنش خشکی را تا حدی کاهش داد. با توجه به توزیع نامناسب بارندگی‌ها و اهمیت کشت سویا به‌عنوان کشت دوم در منطقه مورد مطالعه، مواجهه گیاه با تنش خشکی در طول دوره رشد نمو باعث شده است که تامین نیاز آبی و مدیریت کارآمد آبیاری سویا بیش از پیش اهمیت پیدا کند.

سپاسگزاری

این پژوهش از محل طرح پژوهشی با شماره ۰۵-۱۴۰۲-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nasiri Mahalati, M. (2017). Study of carbon budget and CO_2 emissions rate from soil surface in no tillage systems. *Journal of Agroecology*, *7*(2), 107-119.
2. Akbarinodehi, D. (2013). The effect of drought stress in different stages of growth on yield and water use efficiency of soybean in Mazandaran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *22*(1), 13-23 (in Persian).
3. Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Shiukhy Soqanloo, S. (2022a). Evaluation of treated wastewater irrigation effect on yield components and yield of maize (single cross 704). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6), 1328-1337. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.6.8.8
4. Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Shiukhy Soqanloo, S. (2022b). Evaluation of wastewater effects on soil chemical characteristics, microelements concentrations; heavy metals accumulation and maize yield (Single Cross 704). *Journal of Water and Soil*, *36*(4), 1328-1337. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2022.77424.1178
5. Aminifar, J., Mohsenabadi, G. H., Biglouei, M. H., & Samiezadeh, H. (2012). Evaluation of phenological stages and yield of soybean cultivars under deficit irrigation conditions in Rasht region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(2), 428-434. (in Persian with English abstract).
6. Baziarpur, H., Raeini-Sarjaz, M., Shiukhy Soqanloo, S. (2020). Influence of rice straw management on emissions of methane and carbon dioxide greenhouse gases during the second rive cropping (Case study: Sari, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology*, *8*(1), 35-43. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22125/agmj.2020.223313.1094
7. Basal, O., & Szabo, A. (2020). The Combined Effect of Drought Stress and Nitrogen Fertilization on Soybean. *Agronomy*, 10, 1-18. https://doi:10.3390/agronomy10030384
8. Bond-Lamberty, B., Wang, C., & Gower, S. (2004). A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? *Global Change Biology*, 10(10), 1756-1766. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00816.x
9. Chen, W., Lu, S., Pen, C., Jiao, W., & Wang, M. (2013). Accumulation of Cd in agricultural soil under long-term reclaimed water irrigation. *Environmental Pollution*, *178*, 294-299. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.036
10. Chi, Y., Yang, P., Ren, S., Ma, N., Yang, J., & Xu, Y. (2020). Effects of fertilizer types and water quality on carbon dioxide emissions from soil in wheat-maize rotations. *Science of the Total Environment*, *698*, 134010. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134010
11. Divsalar, M., Tahmasebi Sarvestani, Z. Modares Sanavi, S. A. M., & Hamidi, A. (2016). Investigating the effect of drought stress in the form of interruption of irrigation in reproductive growth stages Quantitative and qualitative yield of soybean cultivars, *Journal of Crop Improvement*, *18*(2), 481-493. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56583
12. Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., & Xie, F. (2020). Effect of drought stress at reproductive stages on growth

and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, *10*, 1-21. https://doi.org/10.3390/agronomy10020302
13. Esmaeili, M., Farhadi Bansouleh, B., & Ghorbani, M. (2015). Effects of Deficit Irrigation on Quantity and Quality of Soybean Crop Yield in Kermanshah Region. *Journal of Water and Soil*, *29*(3), 551-559. https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.31375
14. Farooqi, Z. U. R. (2021). Phytoremediation of inorganic pollutants: An eco-friendly approach, its types and mechanisms. *Plant Environment*, *1*(20), 110-129.
15. Farre, I. & Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, *83*, 135-143. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.001
16. Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Zamani, G., & Sayyari, M. H. (2017). Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Root Dry Weight of Wheat (*Triticum aesativum* L.) and Rye (*Secale cereale* L.) in Competition Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), 438-450. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.53314
17. Hajagha Memar, Sh., Keivan Behjou, F., Sefidi, K., & Behtari, B. (2016). Impact of land use management on soil CO_2 greenhouse gas emissions (Case study: Fandoghloo Forest Reserve). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *23*(2), 330-343. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.107035
18. He, J., Du, Y. L., Wang, T., Turner, N. C., Yang, R. P., Jin, Y., Xi, Y., Zhang, C., Cui, T., & Fang, X. W. (2017). Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* L.) under drought. *Agricultural Water Management*, *179*, 236-245. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.008
19. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005). https://www.Ipccwg1.Ucar.edu/wgl/report/AR4WG
20. Jumrani, K., Bhatia, V. S., & Pandey, G. P. (2017). Impact of elevated temperatures on specific leaf weight, stomatal density, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in soybean. *Photosynthesis Research*, *131*, 333-350.
21. Kaboosi, K. (2016). Evaluation of the medium-term effect of irrigation with treated wastewater on physical and chemical characteristics soil (case study: Bandargaz sewage treatment plant). *Journal of Land Management*, *2*(2), 95-110. https://doi.org/10.22092/lmj.2014.101242
22. Kiani, A. R. (2016). Determining the water requirement of several oilseed plants in Golestan province. *Promotional Magazine of Oilseed Plants*, *1*(2), 94-104. (in Persian).
23. La Scala, N. J., Bolonhezi, D., & Pereira, G. T. (2006). Short-term soil Co_2 emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, *91*, 244-248. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012
24. Ma, Y., Celeste Dias, M., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Chemistry*, *11*, 1-18. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911
25. Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijan, L., Islam, Q. U., Tabinda Akhtar, A. B., Rasheed, R., Irshad, S., & Naeem, U. (2020). Critical risk analysis of metals toxicity in wastewater irrigated soil and crops: a study of a semi-arid developing region. *Scientific Reports*, *10*(1), 12845. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69815-0
26. Maleki, A., Naderi, A., Siyadat, A., Tahmasebi, A., & Fazel, Sh. (2012). The effect of drought stress in different phenological stages on soybean yield and yield components. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, *4*(15), 71-82. (In Persian).
27. Mousavi, S. A., Khaledian, M. R., Ashrafzadeh, A., & Shahin Rokhsar, P. (2016). The effect of limited irrigation in critical stages of growth on increasing yield and water efficiency of three soybean genotypes in Rasht region. *Journal of Water Research in Agriculture*, *29*(4), 433-446. (In Persian).
28. Navabpour, S., Hezarjaribi, E., & Mazandarani, A. (2017). Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(4), 491-503. https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021
29. Nazario, A. A., Zution, I., Augusto Agnellos Barbosa, E., Nazario Silva dos Santos, L., Rodrigues Cavalcante Feitosa, D., & Matsura, E. E. (2019). Impact of the application of domestic wastewater by subsurface drip irrigation on the soil solution in sugarcane cultivation. *Applied and Environmental Soil Science*, *4*, 2-11. https://doi.org/10.1155/2019/8764162
30. Negassa, W., Price, R. F., Basir, A., Snapp, S. S., & Kravchenko, A. (2015). Cover crop and tillage systems effect on soil CO_2 and N_2O fluxes in contrasting topographic positions. *Soil and Tillage Research*, *154*, 64-74. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.015
31. Omidi, H., Pirjalili, F., & Ahmadi, K. (2021). Evaluation of the Effect of Drought Stress on Morphphysiological Characteristics of Three Populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). *Journal of Horticultural Science*, *34*(4), 605-620. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.82643
32. Rashid Rostami, H., Raeini Sarjaz, M., & Shiukhy Soqanloo, S. (2021). Evaluation of the effect of nitrogen fertilizer and irrigation schedule on soil CO_2 flux, photochemical properties and corn yield (Single Cross 704). *Journal of Agricultural Meteorology*, *9*(1), 4-13. https://doi.org/10.22125/agmj.2020.223645.1095
33. Shahrokhnia, M. A., Jowkar, L., & Rakhshandehru, M. (2017). Influence of water stress on tomato production using leaf temperature and soil moisture indicators under seedling cultivation. *Irrigation and Water*

Engineering, *7*(2), 97-111. (in Persian with English abstract).
34. Shimizu, M., Marutani, S., Desyatkin, A. R., Hiroshi Hata, T. J., & Hatano, R. (2009). The effect of manure application on carbon dynamics and budgets in a managed grassland of Southern Hokkaido, Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *130*, 31-40.
35. Shiukhy Soqanloo, S., Gholami, M. A., & Ghasemi, Y. (2023). Effect of water stress and urban wastewater on the heavy metals concentration, yield and quality of basil. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 723-739. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79332.1203
36. Shiukhy Soqanloo, S. (2023). Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, *30*(1), 71-89. https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.21024.3614
37. Shiukhy Soqanloo, S., Mousavi Baygi, M., Torabi, B., & Raeini Sarjaz, M. (2021). Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). *Journal of Agricultural Meteorology*, *9*(2), 15-28. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22125/agmj.2021.297373.1121
38. Tabatabaei, S. H., Nourmahnad, N., Golestani Kermani, S., Tabtabaei, S. A., Najafi, P., & Heidarpour, M. (2020). Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions- A review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, *9*, 193-220. https://doi.org/10.30486/IJROWA.2020.671672
39. Tavares, L. C., Rufino, C. A., Tunes, L. M., & Albuquerque Barros, A. C. S. (2011). Performance of soybean plants originated from seeds of high and low vigor submitted to water deficit. *Journal of Horticulture and Forestry*, *3*(4), 122-130.
40. Thelen, K. D., Fronning, B. E., Kravchenko, A., Min, D. H., & Robertson, G. P. (2010). Integrating livestock manure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass Bioenerg*, *34*, 960-6. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.02.004
41. Tripathi, V., Rajput, T. B. S., & Patel, N. (2016). Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production*, *139*, 142-153. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.054
42. Vanaee, F., Karami, P., Joneidi J. H., & Nabiee, E. K. (2016). Simulation of Soil Organic Carbon Dynamics in Lawn Ecosystem under Different Management Conditions Using the Model of the Century. *Rangeland, 10*(4), 439-449.
43. Wei, Y., Jin, J., Jiang, Sh., Ning, Sh., & Liu, L. (2018). Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei plain, China. *Agronomy*, *9*, 1-16. https://doi.org/10.3390/agronomy8070097
44. Yan, C. J., Wang, W. B., Xiao-Jie, T. U., Wang, C. L., Zhang, L. J., Qiang, D. U., & Song, S. H. (2013). Effect of Drought Stress at Different Growth Stage on Yield and Root Characteristics of Soybean. *Soybean Science*, *1*, 59-67.
45. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., & Asghari, A. (2020). Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses on Crop Sciences*, *3*(13), 735- 747. https://doi.org/10.22077/ESCS.2020.2205.1552